

**Fertirrigação e Agricultura de Baixa Emissão de
Carbono: Resultados do Projeto CNPq/REPENSA em
São Gabriel do Oeste**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pantanal
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 116

Fertirrigação e Agricultura de Baixa Emissão de Carbono: Resultados do Projeto CNPq/REPENSA em São Gabriel do Oeste

Errata (inserida em outubro 2014)

Tabela 2. Os valores de **Quantidade Efetiva Disponível** de P_2O_5 e K_2O foram corrigidos.

Tabela 3. Os valores de **P_2O_5 e K_2O** (kg/hectare) foram corrigidos.

Tabela 5. Os valores de Adubação mineral P-NPK e Adubação mineral K-NPK foram corrigidos.

Tabela 6. Os valores de P aplicado, k aplicado, Supressão de P-NPK, Supressão de K-NPK e (Adaptação = Mitigação – Emissão foram corrigidos.

No texto:

Página 17, último parágrafo, onde se lê:

“Nota-se, ainda, que o biofertilizante na dose de 180 m³/hectare possui 77% do teor de P que a adubação mineral. Por outro lado, é mais rico em K, cerca de 12 vezes superior.”; leia-se “Nota-se, ainda, que o biofertilizante na dose de 180 m³/hectare possui 40% do teor de P que a adubação mineral. Por outro lado, é mais rico em K, cerca de 7,5 vezes superior.”

Página 20, terceiro parágrafo, onde se lê:

“biofertilizante de 7,4, 0,41 e 10,2 ton/ano de N, P e K”, leia-se “biofertilizante de 7,4, 0,504 e 12,6 ton/ano de N, P e K”

Página 23, primeiro parágrafo, onde se lê:

“da ordem de 424 toneladas”; leia-se “da ordem de 425 toneladas”

Embrapa Pantanal

Rua 21 de Setembro, 1880, CEP 79320-900, Corumbá, MS

Caixa Postal 109

Fone: (67) 3234-5800

Fax: (67) 3234-5815

Home page: www.cpap.embrapa.br

E-mail: sac@cpap.embrapa.br

Unidade Responsável pelo conteúdo

Embrapa Pantanal

Comitê Local de Publicações:

Presidente: *Suzana Maria de Salis*

Membros: *Vanderlei Doniseti Acassio dos Reis*

Ana Helena B. M. Fernandes

Sandra Mara Araújo Crispim

Dayanna Schiavi N. Batista

Secretária: *Eliane Mary P. de Arruda*

Supervisora editorial: *Suzana Maria de Salis*

Normalização bibliográfica: *Massayuki Franco Okawachi*

Tratamento de ilustrações: *Eliane Mary P. de Arruda*

Foto da capa: *Ivan Bergier*

Editoração eletrônica: *Eliane Mary P. de Arruda*

Disponibilização na home page: *Marilisi Jorge Cunha*

1ª edição

Formato digital (2012)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Pantanal

Fertirrigação e agricultura de baixa emissão de carbono: resultados do projeto CNPq/REPENSA em São Gabriel do Oeste. [recurso eletrônico] / Ivan Bergier... [et al.]. – Dados eletrônicos – . Corumbá: Embrapa Pantanal, 2012.

28 p. il. Color. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Pantanal, ISSN 1981-7215 ; 116).

1. Fertilização. 2. Agricultura de precisão. 3. Sistema de produção. 4. Carbono. 5. Inclusão social. I. Bergier, Ivan. II. Goulart, Thiago. III. Franco, Edson. IV. Rech, Rubia. V. Silva, Danielle Sales da. VI. Oliveira, Gabriel Sgambato de. VII. Alves, Laís Facincani. VIII. Moraes, Aníbal. IX. Kososki, Adilson Reinaldo. X. Santos, Kleber. XI. Buller, Luz Selene. XII. Ortega, Henrique. XIII. Fernandes, Claudia. XIV. Silva, Roosevelt. XV. Silva, Paula. XVI. Gabas, Sandra Garcia. XVII. Lastoria, Giancarlo. XVIII. Moraes, Osvaldo. XIX. Ramos, Fernando Manoel. XX. Tomich, Thierry Ribeiro. XXI. Embrapa Pantanal. XXII. Coleção.

CDD 631.587

© Embrapa 2012

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	8
Material e Métodos	9
Resultados	11
Discussão	13
Conclusões	25
Referências	25

Fertirrigação e Agricultura de Baixa Emissão de Carbono: Resultados do Projeto CNPq/REPENSA em São Gabriel do Oeste

Ivan Bergier¹
Thiago Goulart²
Edson Franco³
Rubia Rech⁴
Danielle Sales da Silva⁵
Gabriel Sgambato de Oliveira⁶
Laís Facincani Alves⁷
Aníbal Moraes⁸
Adilson Reinaldo Kososki⁹
Kleber Santos¹⁰
Luz Selene Buller¹¹
Henrique Ortega¹²
Claudia Fernandes¹³
Roosevelt Silva¹⁴
Paula Silva¹⁵
Sandra Garcia Gabas¹⁶
Giancarlo Lastoria¹⁷
Osvaldo Moraes¹⁸
Fernando Manoel Ramos¹⁹
Thierry Ribeiro Tomich²⁰

Resumo

Este trabalho apresenta no âmbito do CNPq/REPENSA (Redes Nacionais de Pesquisa em Agrobiodiversidade e Sustentabilidade Agropecuária), Projeto número 562441/2010-7, “Estruturação de rede de monitoramento e base compartilhada de dados de sistemas de produção integrada e intensiva sustentável (suinocultura-agrosilvipastoril) em assentamento de reforma agrária visando balanços favoráveis de água, energia e nutrientes”, informações norteadoras para projetos de fertirrigação para uma agricultura de baixa emissão de carbono. A fertirrigação vem se consolidando como atividade integradora de cadeias produtivas outrora dissociadas, sendo ferramenta importante de inclusão social no meio rural na borda do Pantanal (Bacia do Alto Taquari), transformando externalidades ambientais em fonte de renda e ganhos de produtividade agropecuária. Os resultados e indicadores aqui apresentados mostram que a fertirrigação com efluente de biodigestor de granjas de suínos, aqui convencionado de biofertilizante, gera impactos negativos e positivos. Os negativos recaem no potencial para eutrofização de corpos d’água por nitrogênio reativo na forma de nitratos (NO₃); ambos os processos podem e devem ser substancialmente minimizados pelo uso controlado e eficiente do biofertilizante na agropecuária com doses adequadas de macro (especialmente N, P, K) e micronutrientes (Cu e Zn, entre outros) para diversas

¹ Biólogo, Doutor, Embrapa Pantanal, Caixa Postal 109, 79320-900, Corumbá, MS. ivan@cpap.embrapa.br

² Agrônomo, Graduado, Bolsista DTI-C, CNPq. melothj@terra.com.br

³ Tecnólogo Ambiental, Bolsista DTI-C, CNPq. edson.lfranco@hotmail.com

⁴ Pedagoga, Bolsista DTI-C, CNPq, Assentamento Campanário, São Gabriel do Oeste, MS. rubinharech@hotmail.com

⁵ Bolsista Pibic-CNPq, Aluno IFMS, Rua Delamare, 1557, 79331-040, Corumbá, MS. dannyelli_ss@hotmail.com

⁶ Bolsista Pibic-CNPq, Aluno IFMS, Rua Delamare, 1557, 79331-040, Corumbá, MS. gabrielsgambato@hotmail.com

⁷ Bolsista Pibic-CNPq, Aluno IFMS, Rua Delamare, 1557, 79331-040, Corumbá, MS. lais.facincani@hotmail.com

⁸ Agrônomo, Doutor, UFPR, Depto. de Fitotecnia e Fitossanitarismo, 1540, 80035-050, Curitiba, PR. anibalm@ufpr.br

⁹ Agrônomo, MAPA/SDC, Esplanada dos Ministérios, Bl D, Anexo Ala A, S/204, Brasília, DF. adilson.kososki@agricultura.gov.br

¹⁰ Agrônomo, MAPA/SDC, Esplanada dos Ministérios, Bl D, Anexo Ala A, S/204, Brasília, DF. kleber.santos@agricultura.gov.br

¹¹ Doutorado em Engenharia de Alimentos, FEA/Unicamp, Caixa Postal 6121, 13083-862, Campinas, SP. selene@fea.unicamp.br

¹² Doutor em Engenharia de Alimentos, FEA/Unicamp, Caixa Postal 6121, 13083-862, Campinas, SP. ortega@fea.unicamp.br

¹³ Ciência da Computação, Mestre, IFMS, Rua Delamare, 1557, 79331-040, Corumbá, MS. claudia.fernandes@ifms.edu.br

¹⁴ Professor, IFMS, Rua Delamare, 1557, 79331-040, Corumbá, MS. roosevelt.silva@ifms.edu.br

¹⁵ Professora, Mestre, IFMS, Rua Delamare, 1557, 79331-040, Corumbá, MS. paula.silva@ifms.edu.br

¹⁶ Geóloga, Doutora, UFMS/CCT, Caixa Postal 549, 79070-900, Campo Grande, MS. sandra.gabas@gmail.com

¹⁷ Geólogo, Doutor, UFMS/CCET, Caixa Postal 549, 79070-900, Campo Grande, MS. g.lastoria@ufms.br

¹⁸ CPTEC/INPE, osvaldo.moraes@pq.cnpq.br

¹⁹ Pesquisador, Doutor, INPE, Lab. Computação Aplicada, Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010, S. J. Campos, SP. fernando.ramos@inpe.br

²⁰ Veterinário, Doutor, Embrapa Gado de Leite, R. Eugênio do Nascimento, 610, Dom Bosco, 36038-330, Juiz de Fora, MG.

thierry@cnpq.embrapa.br

culturas, conforme discutido neste trabalho. Os impactos positivos são a manutenção do estoque de carbono no solo no longo prazo mediante manejo adequado da produção de forragem para gado (corte ou leite) ou na produção de grãos com tecnologias de conservação de solo, e o balanço favorável das emissões de gases de efeito estufa do agroecossistema como um todo pela substituição de diesel por biogás em motogeradores e motobombas, pela substituição da adubação mineral e de agrotóxicos (ambos não renováveis) e pela possibilidade de recomposição de mata proporcional à um terço dos ganhos de produtividade. Em termos de mecanismo de adaptação à mudança do clima, a restauração relativa de áreas de mata nativa favorece a recuperação e/ou manutenção de outros importantes serviços ambientais, como o aumento da agrobiodiversidade, a produção de água e incremento da polinização por insetos.

Palavras-chave: mitigação, adaptação, mudança climática, cadeias produtivas integradas, inclusão social.

Fertirrigation and Low Carbon Agriculture: Results of the Project CNPq/Repensa in São Gabriel do Oeste

Abstract

This paper presents under the CNPq/Repensa (National Research Networks for Agrobiodiversity and Agricultural Sustainability, Project number 562441/2010-7, "Structuring of network monitoring and shared data base on integrated and intensive systems (swine-agriculture-pasture-forestry) in order to achieve favorable balance of water, energy and nutrients at a settlement") information for guiding fertirrigation approaches to "low carbon footprint agriculture" projects. Fertirrigation has been consolidated as an integrator of productive activities once dissociated, with a high potential of social inclusion in rural areas at the edge of the Pantanal (the Alto Taquari Basin), transforming environmental externalities into a source of income and gains in agricultural productivity. The results and indicators presented here show that fertirrigation with biological reactor effluent from pig farms, here called biofertilizer, generate negative and positive impacts. The negative impacts are usually related to atmospheric emissions of reactive nitrogen in the form of ammonia (NH_3) and nitrous oxide (N_2O) and the potential for eutrophication of water bodies for reactive nitrogen in the form of nitrates (NO_3); both processes can and should be substantially minimized by the efficient use of the biofertilizer in agriculture with adequate doses of macro (P, N, K) and micronutrients (Cu and Zn, among others) for several crop types, as discussed in this paper. The positive impacts fall upon maintaining the stock of carbon in the soil in the long run through proper management of forage for cattle (meat or milk) or grain yield with soil conservation technologies and on the favorable balance of emissions of greenhouse gases of the ecosystem as a whole by the substitution of diesel by biogas in motor generators and pumps, by the substitution of mineral fertilizer and pesticides (both non-renewable), and by the restoration of native forest proportional to one-third of the productivity gains. In terms of mechanism of adaptation to climate change, the restoration of native forests promotes the recovery and/or the maintenance of other important environmental services, such as increased biodiversity, water production and the pollinated crops by insects.

Keywords: mitigation, adaptation, climate change, integrated commodity chains, social inclusion.

Introdução

São Gabriel do Oeste, município do Mato Grosso do Sul, com 22,2 mil habitantes segundo Censo Demográfico do IBGE em 2010, corresponde a importante polo econômico de produção de commodities agrícolas, onde desde meados da década passada a suinocultura tem ganhado destaque na geração de receita e empregos, com ganhos significativos de qualidade de vida para a população local. A atividade suinícola está em expansão no município e a Cooperativa Agropecuária de São Gabriel do Oeste (COOASGO) deve, em breve, chegar a 65 granjas atendidas, das quais mais da metade de pequeno porte (até 4.000 animais por ciclo, três ciclos por ano). O abate de suínos no município deve superar as 250 mil cabeças anuais no curto prazo.

A necessidade de se destinar adequadamente os dejetos dos suínos, bem como a inclusão no mercado de certificados de redução de emissão de gases de efeito estufa, teve como resultado a instalação de biodigestores anaeróbios para a mitigação das emissões atmosféricas de metano. Desde 2005, a instalação dos biodigestores e a capacidade de inovação local teve como desdobramentos relevantes a adaptação de motores de ciclo Otto para biogás, originalmente desenhados para operar com diesel (RIEGER, 2006). Tais máquinas são hoje utilizadas tanto na geração renovável de energia elétrica (motogeradores de 50 a 250 kVA, com eficiência aproximada de 40%), como no bombeamento (motobombas hidráulicas, eficiência energética similar) do efluente dos biodigestores (biofertilizante) em culturas de integração total ou parcial de lavoura, pecuária e floresta. Tal integração, convencionada por agrossuinocultura, tem, conforme Dawson e Hilton (2011), o potencial de se consolidar como solução sustentável para uma eficiente reciclagem de nutrientes e, segundo Bergier e Almeida (2010), para a mitigação de emissões de gases estufa e estratégia de adaptação à mudança do clima em atividades rurais intensivas e socialmente inclusivas.

Intensificar a agricultura tem sido a principal estratégia indicada para alimentar de forma adequada a população mundial em 2050 (estimada para alcançar nove bilhões de pessoas), reduzir as emissões de gases de efeito estufa pela agropecuária e reduzir as perdas de serviços ambientais por desmatamento (BALBINOT JUNIOR et al., 2009; BURNEY et al., 2010; BUTLER; SPENCER, 2010; REAPING..., 2009). Práticas eficientes de gerenciamento de energia e nutrientes podem substancialmente reduzir o uso de nitrogênio não renovável (TILMAN et al., 2011), isto é, aquele produzido com energia de origem fóssil.

É sabido que o excesso de nitrogênio na produção agrícola é um dos desafios globais de maior relevância do ponto de vista da saúde ambiental e humana (ROCKSTROM et al., 2009). O excesso de nitrato (NO_3) e o excesso de amônia (NH_3) no ambiente podem levar à eutrofização de corpos d'água e pode fertilizar em demasia (deposição atmosférica) ecossistemas adjacentes com fontes de nitrogênio reativo (SUTTON et al., 2011), o que pode alterar o sequestro de carbono no solo em função da latitude, os níveis de CO_2 e o aumento da temperatura conforme o avanço da mudança do clima (SOKOLOV et al., 2008; WANG et al., 2010; ZAEHLE et al., 2011). O nitrogênio reativo no solo pode ser em parte convertido e emitido à atmosfera na forma de óxido nitroso (N_2O), cujo potencial de aquecimento global relativo ao dióxido de carbono é 298 vezes superior, e pode eventualmente contrabalançar eventuais benefícios da fixação de carbono em ecossistemas (aumento da produção primária líquida) induzida pela intervenção humana no ciclo global do nitrogênio (ZAEHLE et al., 2011). Todavia, a aplicação mais precisa de dejetos líquidos pode e deve ser menos poluente, de modo a limitar as perdas de nitrato, reduzir o odor e emitir menos gases na atmosfera. O maior desafio está na gestão e controle da produção e uso de fertilizantes e efluentes rurais e urbanos (ver, por exemplo, o protocolo de Gothenburg no Hemisfério Norte – (UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, 2005) e também na reeducação alimentar da população (SUTTON et al., 2011). De fato, quase 80% do nitrogênio encontrado em tecidos humanos origina-se da produção de nitrogênio reativo a partir do inerte N_2 , o chamado processo de Haber-Bosch (HOWARTH, 2008).

Foi sugerido recentemente, por meio de ensaios de laboratório, que a adição do biofertilizante, rico em nitrogênio amoniacal, poderia ser responsável pelo estímulo de microrganismos do solo e, portanto, por emissões líquidas de carbono pelos solos fertirrigados em São Gabriel do Oeste (FERNANDES et al., 2011). Por outro lado, resultados de eficiência dos biodigestores evidenciaram que o efluente apresenta-se como um biofertilizante eficaz e seguro para fins agrônômicos (SOARES et al., 2010), com potencial de substituir em boa medida fertilizantes minerais de origem não renovável. Ensaios experimentais em campo sugerem, ainda, que quanto maior a dosagem do biofertilizante maior é o crescimento de forragem para gado - cerca de 40% de aumento em relação à calagem e à fertilização com NPK (considerando-se uma aplicação instantânea mensal de 30 $\text{m}^3/\text{hectare}$ de biofertilizante) (CRISPIM et al., 2010).

Por meio da fertirrigação manejada corretamente e aliada a técnicas conservacionistas de solo (pastagem cultivada, plantio direto, rotação de cultura, etc.), a produtividade de pastagens, grãos e madeira podem ter incrementos significativos, direcionando os agroecossistemas em São Gabriel do Oeste para produtividade elevada e de base renovável. O ganho na produtividade também abre a possibilidade de recuperação da vegetação nativa em uma fração relativa da área produtiva, especialmente próximas às nascentes d'água, ou mesmo para a formação de reservas naturais (Reserva Legal, Área de Proteção Permanente ou APP e Reserva Particular do Patrimônio Natural ou RPPN). Em particular, a recuperação de vegetação com predomínio de essências nativas tem a capacidade de restaurar, manter ou incrementar diversos serviços ambientais, em especial a polinização promovida por insetos, a produção de água e o seqüestro e estoque de carbono no solo e nas plantas (em grande medida nos troncos e raízes). Com vista a melhor esclarecer a complexidade dos agroecossistemas da agrossuicultura diante dos desafios locais (estabelecer protocolos no processo de fertirrigação), regionais (Pantanal e Aquífero Guarani) e globais (mudança do clima), sob uma perspectiva mais ampla de dinâmica e de ecologia de agroecossistemas, neste trabalho busca-se verificar com dados *in situ* e modelos dinâmicos simplificados, se a adição de biofertilizante no longo prazo pode ter impacto sobre os estoques de carbono nos solos fertirrigados. Procura-se, ainda, considerar no cômputo do balanço de gases estufa a geração de energia renovável, a substituição de diesel e de fertilizantes não renováveis na cadeia produtiva e o potencial de restauração de serviços ambientais pela recomposição de parte de matas nativas em agroecossistemas que tiveram produtividade elevada pela prática controlada de fertirrigação associada a práticas de conservação de solo.

Material e Métodos

Amostras de solo em três profundidades (0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm) foram obtidas em março de 2012 por meio de um trado tipo sonda (Sondaterra/S-40) em cinco granjas de São Gabriel do Oeste/MS, onde a fertirrigação vem ocorrendo continuamente de 3 a 16 anos em áreas de pastagens cultivadas (*Cynodon* sp. ou *Panicum* sp.). As granjas foram escolhidas por critério de idade (tempo de aplicação de dejetos nos solos) e por critério de manejo de pastagem (manutenção adequada de fitomassa acima do solo, e pastejo moderado com rotação em piquetes). A Figura 1 exemplifica este tipo de produção com *Panicum* sp.

Foto: Carlos Shimata



Figura 1. Produção intensiva de gado de corte em piquetes de pastagem (*Panicum* sp.) fertirrigada com efluente de biodigestor de suínos.

Amostras de solo foram obtidas em áreas de pastagem cultivada fertirrigada (Figura 2) e em áreas “testemunhas” sem fertirrigação. Em uma das propriedades foram obtidas amostras de solo de uma área com vegetação nativa cuja idade supera os 30 anos de preservação. As amostras de solo foram congeladas e encaminhadas para o Laboratório de Conversão de Biomassa da Embrapa Pantanal.

Uma fração bruta de cada amostra (removendo-se vestígios de raízes) foi preparada para análise em microscopia eletrônica de varredura (MEV) em alto vácuo com espectroscopia de raios X (FEI Quanta 250/EDAX) para a determinação da composição elementar relativa com um feixe de elétrons obtido em 10 kV.



Figura 2. Coleta de amostras de solo (março 2012) em pastagem fertirrigada em São Gabriel do Oeste, Mato Grosso do Sul.

Na Figura 3 (canto superior esquerdo) apresenta-se uma imagem de câmera auxiliar de navegação com amostras de solo ajustadas para análise de raios X e para imageamento. Ainda na Figura 3 são mostradas três imagens que permitem verificar a estrutura/organização do solo em diferentes escalas ou magnitudes de ampliação. As imagens foram produzidas em baixo vácuo (ambiental) com um feixe de elétrons obtido em 5 a 10 kV com detector de campo amplo (LFD). Cada amostra foi submetida a análise de raios X a 10 mm de distância da peça polar e magnitude de 100x, obtendo-se espectros de energia com picos específicos para elementos detectados, conforme exemplificado na Figura 4.

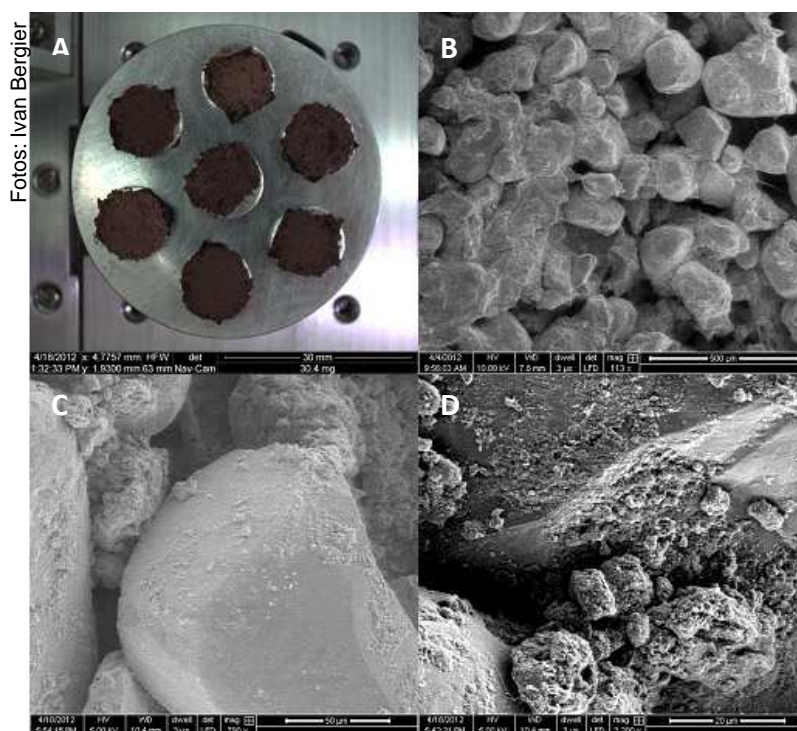


Figura 3. Montagem das amostras de solo no MEV (A). Imagens obtidas com detector (LFD) em baixo vácuo e baixa tensão do feixe de elétrons de 5 e 10 kV em diferentes magnitudes, 113x, 790x e 2200x (B, C e D, respectivamente), exemplificando a estruturação dos minerais e agregados dos solos fertirrigados na camada 0-10 cm.

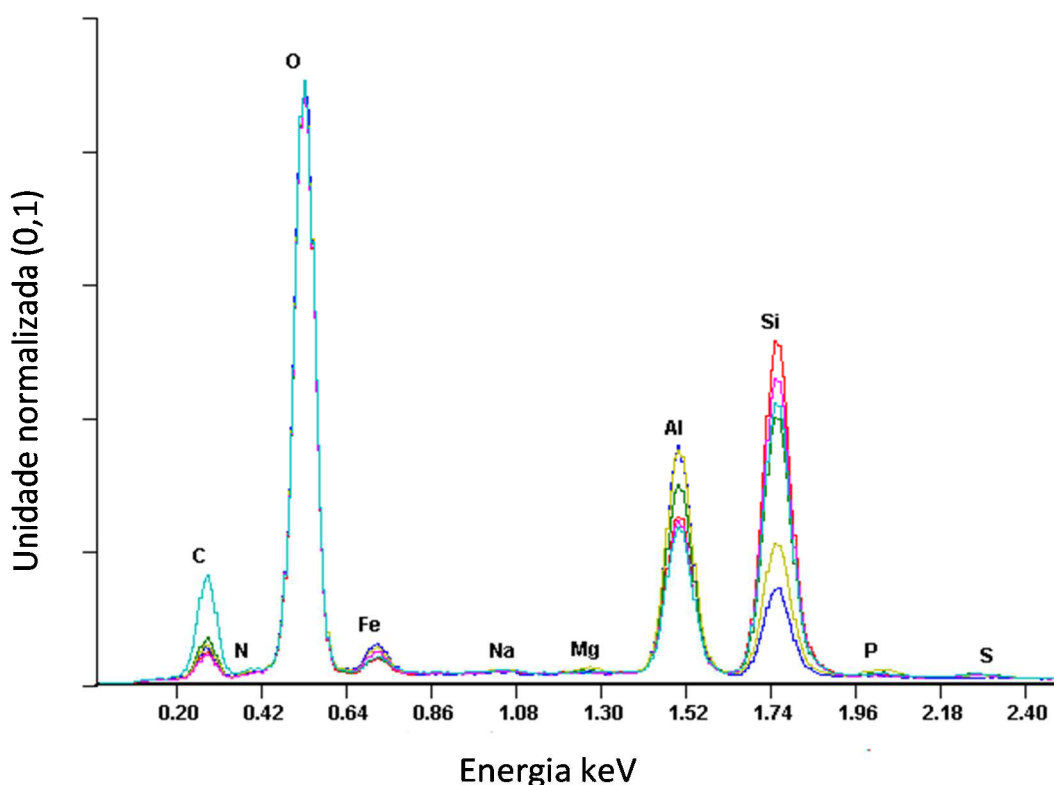


Figura 4. Espectros normalizados (unidade arbitrária) de energia de raios X (em keV) para amostras de solos de São Gabriel do Oeste em uma mesma profundidade. O elemento químico mais abundante e igualmente distribuído entre os solos é o oxigênio. C = carbono; N = nitrogênio; O = oxigênio; Fe = ferro; Na = sódio; Mg = magnésio; Al = alumínio; Si = silício; P = fósforo e S = enxofre.

A quantificação relativa (percentual) de carbono (C%) em relação aos demais elementos identificados nas amostras pela análise de raios X foi obtida no programa Genesis com detector EDAX no MEV. Procurou-se avaliar C% relativo ao percentual de oxigênio (O%), elemento mais abundante e em quantidade relativa mais estável entre as amostras, tendo em vista que os solos variam especialmente nos teores de Fe, Al e Si entre os pontos amostrados. As amostras de solo foram congeladas para futura análise dos teores absolutos de carbono. Foram obtidos cinco espectros de raios X, de modo a compor valores médios (± 1 DP, $n = 5$) de C% para cada amostra/profundidade.

Esses dados brutos e processados (médias) foram empregados em gráficos, análises de regressão e modelos dinâmicos em função do tempo de fertirrigação de cada propriedade, em análises de “box-plot” e em testes estatísticos não paramétricos (distribuição não-gaussiana) de Kruskal-Wallis, equivalente à ANOVA, e de Mann Whitney, equivalente ao teste t de Student.

Dados e fatores de conversão de produção suinícola e outras fontes com parâmetros de interesse foram também empregados e sintetizados em tabelas de modo a subsidiar as premissas aqui definidas, as quais serão atualizadas ao longo do monitoramento e, também, para viabilizar a elaboração de projetos de agricultura de baixa emissão de carbono na agrossuínocultura.

Resultados

Análises estatísticas não paramétricas

A Figura 5 apresenta os valores medianos de C% distribuídos em box-plot nas três profundidades de solos fertirrigados (SF), solos testemunha (SNF) e solo com vegetação nativa (MN). O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para 150 casos de C% na profundidade 0-30 cm (75 casos SF, 60 casos SNF e 15 casos MN) resultou em estatística KW= 25,886 e probabilidade $p < 0,001$, assumindo distribuição chi-quadrado com 2 graus de liberdade. Consequentemente, os valores de C% da vegetação nativa são significativamente diferentes dos valores dos agroecossistemas (fertirrigado e testemunha), conforme pode ser visualizado na Figura 5.

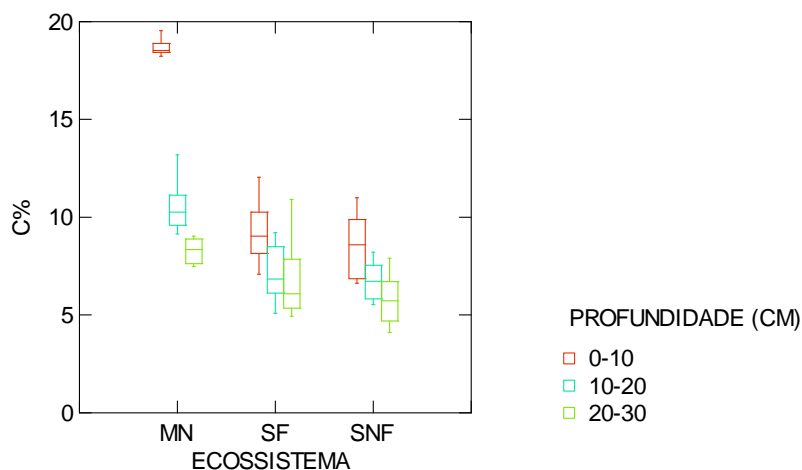


Figura 5. Distribuição em box-plot (mediana e 50% dos valores centrais representados pelo box) dos valores de C% nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm para solos de vegetação nativa (MN), solos fertilirrigados (SF) e solos não fertilirrigados (SNF).

A vegetação nativa consegue incorporar e armazenar mais carbono no solo que os sistemas agropecuários; o solo é mantido intacto e a remoção (por chuva, vento, etc.) de serrapilheira (matéria orgânica na superfície do solo) é mínima. Além disso, o nitrogênio reativo presente no solo da vegetação nativa deriva essencialmente da fixação biológica de nitrogênio (FBN), quando houver, ou por deposições atmosféricas, as quais podem eventualmente ser intensificadas pela suinocultura adjacente. Para um nível de significância $\alpha = 0,05$ não foram observadas diferenças significativas do teor de C% entre solos SF e SNF isoladamente para cada camada de solo (Tabela 1). Apenas na camada 20-30 as diferenças de C% seriam significativas para uma probabilidade $p < 0,1$. Entretanto, integrando-se toda a camada 0-30 cm, a diferença de C% entre solos SF e SNF foi significativa ($U = 2697.5$, $p = 0,048$, $\alpha = 0,05$).

Tabela 1. Teste não paramétrico Mann-Whitney para teste de significância ($\alpha = 0,05$) nas diferenças de C% nos solos “fertilirrigado” (AF) e “testemunha” (ANF) em cada camada de solo amostrada.

Profundidade do solo (cm)	Estatística U	Probabilidade p
0-10	319,5	0,112
10-20	290	0,361
20-30	333,5	0,056

Dinâmica de C% em solos fertilirrigados (SF) e não fertilirrigados (SNF)

O estudo da dinâmica de carbono no solo foi realizado com base nos dados de raios X dos valores de C% relativos ao O% (mais estável e abundante, Figura 4), isto é, $C\% + O\% = 100\%$. Assim, esses valores não indicam o teor real de carbono no solo, mas um “teor relativo ou normalizado” que, por sua vez, é passível de comparação no tempo e no espaço, portanto adequado para estudos de dinâmica, conforme os solos amostrados com idades distintas de aplicação de dejetos de suínos. Com base nessa premissa, foram gerados gráficos com os valores médios de C% para as granjas com 3, 6, 8 e 16 anos de aplicação de dejetos de suínos em culturas de pastagem. Nas granjas selecionadas, a aplicação de dejetos foi bem distribuída, tanto no tempo ao longo do ano como no espaço entre os piquetes de pasto, através de sistemas convencionais (aspersor e bomba a diesel) ou mais modernos de fertirrigação (carretel de irrigação e motobomba a biogás). Na Figura 6 são apresentadas as médias e os respectivos desvios padrão dos valores de C% nos solos (três profundidades) SF e SNF em função do tempo de aplicação de dejetos (em anos) para cada uma das granjas estudadas. Os ajustes de regressões para obtenção de modelos (curvas) foram realizados somente para os solos testemunha (SNF) (Figura 6).

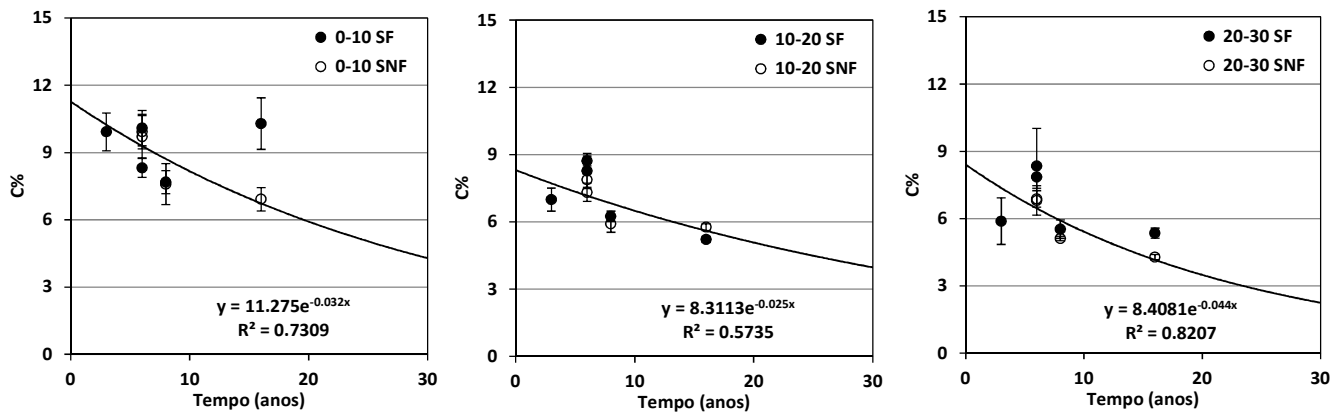


Figura 6. Estudo da dinâmica temporal (duração da fertirrigação em anos) dos valores relativos de C% (média \pm 1DP) nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm em amostras (n=5) de solos fertilizados (SF, círculos pretos) e não fertilizados (SNF, círculos brancos) em granjas de São Gabriel do Oeste, MS. As equações de decaimento exponencial obtidas por análise de regressão para cada profundidade de solo são apresentadas somente para os solos testemunha SNF.

Discussão

Estudos conduzidos nos Estados Unidos (EUA) sugerem um balanço equilibrado entre a entrada de carbono no solo por fotossíntese e as perdas de carbono no solo por respiração quando da adição de nitrogênio (RUSSELL et al., 2009). Em áreas do Cerrado Piauiense, a implantação do sistema de plantio direto melhorou os atributos químicos e aumentou os estoques de carbono orgânico total e microbiano do solo e seu uso contínuo contribuiu para a qualidade do solo (LEITE et al., 2010). No Cerrado Goiano, sem o revolvimento do solo e com aplicação superficial de corretivo e de fertilizantes, a estratificação dos teores de carbono total promoveu a retenção dos elementos mais próximos à superfície, favorecendo sua absorção pelas plantas (SIQUEIRA NETO et al., 2009). Estudos conduzidos nos campos experimentais da Embrapa Cerrados sugerem que, em relação ao sistema natural (Cerrado original), o acúmulo de carbono é maior nos agroecossistemas com menor perturbação do solo (plantio direto, pastagem cultivada e reflorestamento de eucalipto) e menor nos agroecossistemas mais perturbados (uso de arado de disco e gradeamento pesado) (CORAZZA et al., 1999). Este trabalho mostrou que os solos sob plantio direto, pastagem cultivada e reflorestamento de eucalipto funcionam como sorvedouros e os solos sob gradeamento pesado e arado de disco como fontes de CO₂ para a atmosfera.

Em área experimental da Universidade Federal de Goiás, em Jataí, Assis et al. (2003) avaliaram o efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana do solo, e na decomposição de palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. A aplicação de 30 kg/hectare de nitrogênio não afetou a atividade microbiana do solo, no entanto, aumentou a taxa de decomposição da palhada de sorgo. Um estudo similar conduzido por Luz (2007) em solos do Sul (Santa Maria, RS), indicou que dejetos líquidos de suínos não biodigeridos aplicados em palhada de trigo estimularam a decomposição da palhada por processos heterotróficos em função da injeção de nitrogênio do dejetos, especialmente quando a palhada não está diretamente incorporada ao solo; quando incorporada ao solo (por exemplo, ao longo do tempo), os microrganismos atendem sua demanda em nitrogênio para biossíntese a partir da mineralização da palha e da matéria orgânica do solo, independentemente do nitrogênio aplicado com os dejetos. Nessa mesma linha, estudos conduzidos por Morales et al. (2011) em Santa Catarina sugerem que para sistemas de plantio direto a aplicação de dejetos de suínos não estimula o quociente metabólico (qCO_2), o que indica que o sistema de plantio direto promove práticas de conservação e acúmulo de carbono no solo que reduzem os fatores de estresse aos microrganismos.

Na mudança do Cerrado Mineiro para eucalipto em consórcio com o arroz, o estoque de carbono no solo sofreu uma considerável redução. Entretanto, com a evolução do sistema agrossilvopastoril (inserção de gado), houve uma tendência de recuperação do estoque de carbono original, de modo que o manejo adequado para conservação do solo e produtividade das culturas deve ter como premissa a utilização de métodos de preparo mínimo ou nenhum revolvimento do solo e sistemas de rotação/sucessão de culturas que incluam plantas com alta produção de resíduos vegetais (NEVES et al., 2004). Aliado a isso, tem sido demonstrado que nos sistemas integrados de produção a presença de grandes herbívoros modifica positivamente os caminhos dos nutrientes e

os agregados do solo, melhorando a qualidade do solo como um todo. Contudo, para que o sistema integrado tenha êxito, alguns fundamentos devem ser atendidos, como uso de rotação de culturas, do sistema de plantio direto e de genótipos de animais e vegetais melhorados, correção da acidez e fertilidade do solo e, principalmente, manejo adequado da pastagem (CARVALHO et al., 2010).

Os resultados aqui apresentados à luz do que vem sendo verificado nos estudos destacados acima, sugere que boas práticas agropecuárias com o biofertilizante de biodigestores de granjas de suíno no Cerrado podem ser efetivamente empregadas para a obtenção de balanços econômicos e socioambientais favoráveis. Assume-se, em primeiro lugar, que há volatilização de amônia nas lagoas de biofertilizantes. Aproximadamente 34% (valor médio obtido de amostras analisadas em 2009 no Laboratório de Qualidade Ambiental - LAQUA/UFMS) da amônia que sai do biodigestor são perdidos por transporte atmosférico, de modo que as áreas tidas por “testemunha” e as vegetações nativas adjacentes podem e efetivamente devem ser indiretamente “fertilizadas” por processos de deposição atmosférica de nitrogênio reativo originado dessas lagoas. Com isso, o que se espera, é um estímulo ao consumo exponencial de carbono do solo nas áreas testemunha (Figura 6), especialmente porque não são manejadas para incorporação de carbono no solo pela fitomassa acima do solo. Mas as vegetações nativas podem ser fertilizadas pela deposição atmosférica e, se bem manejadas, podem eventualmente estocar mais carbono.

Os solos fertirrigados (SF) apresentam tendência similar aos solos não fertirrigados (SNF) de decaimento de C% ao longo dos anos. No entanto, nota-se na profundidade 0-10 cm dos solos fertirrigados na granja mais antiga (16 anos) que os valores de C% foram significativamente maiores que os solos testemunha ($U = 25$, $p = 0,009$). A hipótese aqui formulada e avaliada, com base nos valores de C%, é a de que a dinâmica de carbono no solo fertirrigado resulta da integração no tempo t da taxa R de respiração microbiana de uma fração de carbono no solo (processo heterotrófico) e da taxa P de produção de uma fração da biomassa por fotossíntese (processo autotrófico) acima (fitomassa aérea) e abaixo do solo (raízes), que por fim promovem a incorporação paulatina de carbono no solo, se bem manejados. Um balanço favorável para o estoque de carbono no solo, isto é, para $P > R$, foi observado, por exemplo, em sistemas integrados de produção (LANG et al., 2011; MORAES et al., 2007; NEVES et al., 2004). A rotação de culturas, outro princípio temporal de integração, aumenta a biodiversidade, devido à adição de diversos materiais orgânicos, permitindo maior diversidade de espécies da biota do solo. Essa maior biodiversidade também é capaz de absorver e acumular mais carbono em relação aos ambientes de menor biodiversidade (LAL, 2004). A partir dessas informações é possível elaborar um conjunto de equações para modelar os valores obtidos de C% em função de R e P ($C\%(R,P)$), mais especificamente da integração da variação de $C\%_R$ e $C\%_P$ no tempo $t(\Delta C/\Delta t)$, que em termos matemáticos (DIECKOW et al., 2004) pode ser definido por:

$$C\%(R,P) = \sum_0^t \frac{\Delta C\%_R}{\Delta t} + \sum_0^t \frac{\Delta C\%_P}{\Delta t} \quad \text{equação 1}$$

O segundo termo da equação para cada profundidade de solo pode ser resolvido pelas expressões de decaimento exponencial. Contudo, assume-se que nem todo carbono no solo seja respirado, especialmente aquele mais refratário. Com isso, optou-se por empregar um modelo iterativo de curva logística exponencial de decaimento:

$$C\%_R(t+1) = C\%_R(t) e^{-r \left(\frac{C\%_R(t)}{C\%_{\min} - 1} \right)} \quad \text{equação 2}$$

Parametrizado com taxa e condição inicial (r , $C\%_R(t=0)$) obtidos nas regressões exponenciais aplicadas aos dados de campo dos solos SNF para cada profundidade (Figura 6), sendo o limite inferior de decaimento ($C\%_{\min}$) definido pelo valor mínimo de C% observado para solos em toda a camada amostrada (0 - 30 cm) fertirrigados (SF) e não fertirrigados (SNF). O terceiro termo pode ser resolvido por meio de uma equação (sigmoide) logística exponencial de iteração:

$$C\%_P(t+1) = C\%_P(t) e^{r \left(1 - \frac{C\%_P(t)}{C\%} \right)} \quad \text{equação 3}$$

Onde são definidos para cada profundidade de solo a condição inicial em $t = 0$ ($C\%_p(t) = 0,001$) para todas as profundidades), as taxas de incremento exponencial r ($r_{0-10} = 0,53$, $r_{10-20} = r_{0-10}/2$ e $r_{20-30} = r_{0-10}/4$), o limite da contribuição de P em C%, também conhecido por capacidade de suporte, assumido como a média $\frac{C\%}{2}$.

em cada profundidade ($n = 25$, cinco medidas em cinco granjas) dos valores de $C\%$ obtidos nos solos fertirrigados. Resolvendo-se a equação 1 com base nas equações 2 e 3 obtêm-se os modelos exploratórios de cenários para um horizonte de 100 anos na Figura 7, sem assumir, todavia, eventuais efeitos de mudanças extremas de temperatura e ou chuva em função de aquecimento global. Assim, trata-se de um modelo que representa parte da realidade e fornece subsídios para tomada de decisão, em específico propiciar os argumentos necessários para que a fertirrigação com dejetos de suínos seja realizada de forma segura, associada com a produção de resíduos vegetais na forma de carbono que deve repor ou pelo menos manter relativamente estáveis os estoques de carbono nos solos fertirrigados.

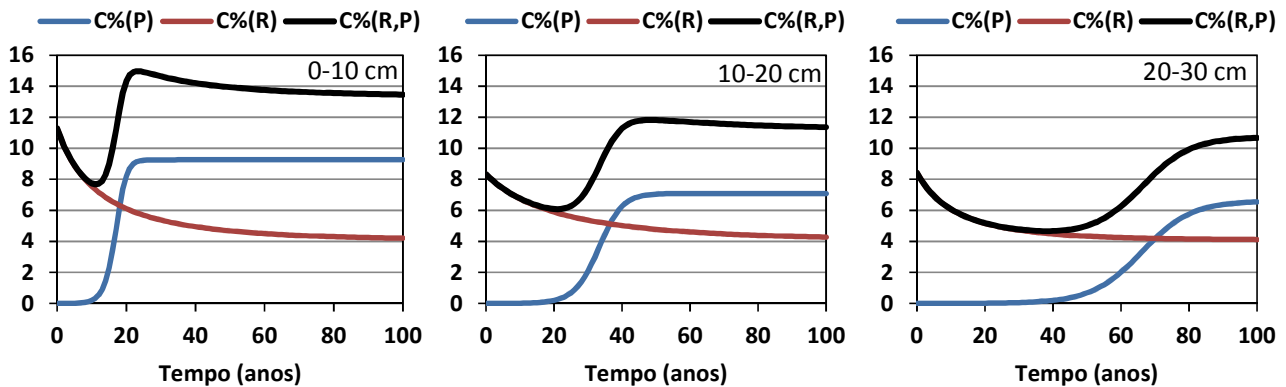


Figura 7. Modelo exploratório da dinâmica do estoque relativo de $C\%$ nas três profundidades 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm em solos fertirrigados de integração suíno-bovinos em São Gabriel do Oeste, MS.

Os modelos de $C\%$ ajustados aos dados observados em cada profundidade são apresentados na Figura 8. A média ($\pm 1DP$) dos valores modelados de $C\%$ (R , P) para a camada 0 - 30 cm é mostrada na Figura 9. Fundamentado no modelo aqui definido, com base em observação de campo e na literatura citada, sugere-se que no longo termo deve haver incremento no estoque de carbono em solos fertirrigados com pastagem cultivada mediante medidas de conservação de solo (pastejo moderado, manutenção de palhada, dosagem adequada, etc), tendo em vista que a incorporação de carbono no solo (como ocorre na vegetação nativa, ver Figura 5) supera a respiração do solo ($P > R$) em um dado momento (Figuras 8 e 9). As maiores incertezas do modelo recaem sobre as profundidades 10 - 20 cm e 20 - 30 cm, onde as taxas de incremento exponencial na equação 3 foram assumidas respectivamente como 50% e 25% da taxa de incremento para a profundidade 0 - 10 cm.

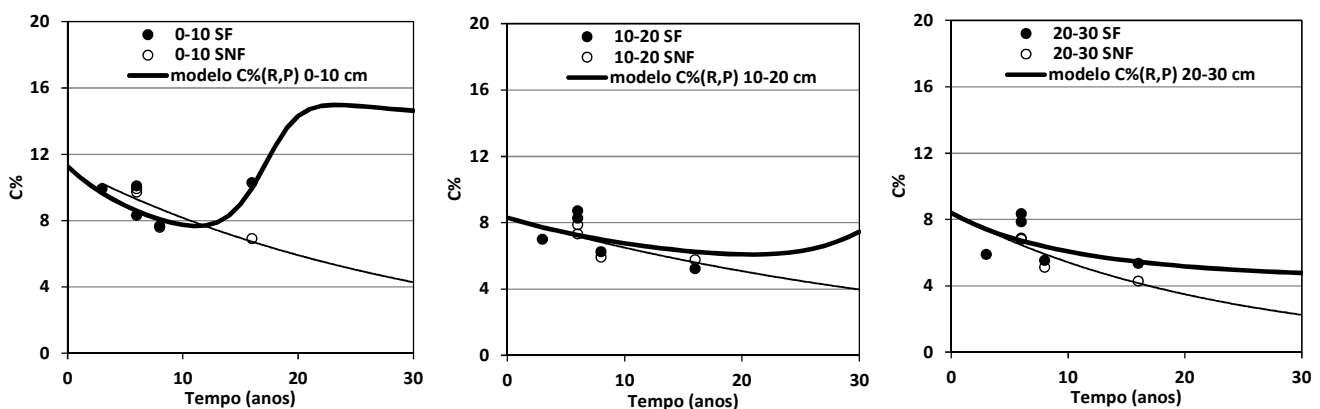


Figura 8. Ajuste dos modelos exploratórios de cenário (linhas espessas) nas profundidades 0 - 10 cm, 10 - 20 cm e 20 - 30 cm em amostras ($n=5$ para cada propriedade e tempo de fertirrigação) de solos fertirrigados (SF) em São Gabriel do Oeste, MS. As curvas de decaimento exponencial para os solos testemunha (SNF) foram mantidas para referência.

Estes valores foram selecionados de modo a simular menor velocidade de incorporação de $C\%(R)$ com o aumento da profundidade. Outros parâmetros que requerem refinamento e verificação no futuro são $C\%_{min}$ e $C\%$. O monitoramento ao longo dos anos desses solos será de grande importância para aprimorar e melhor parametrizar o modelo desenvolvido.

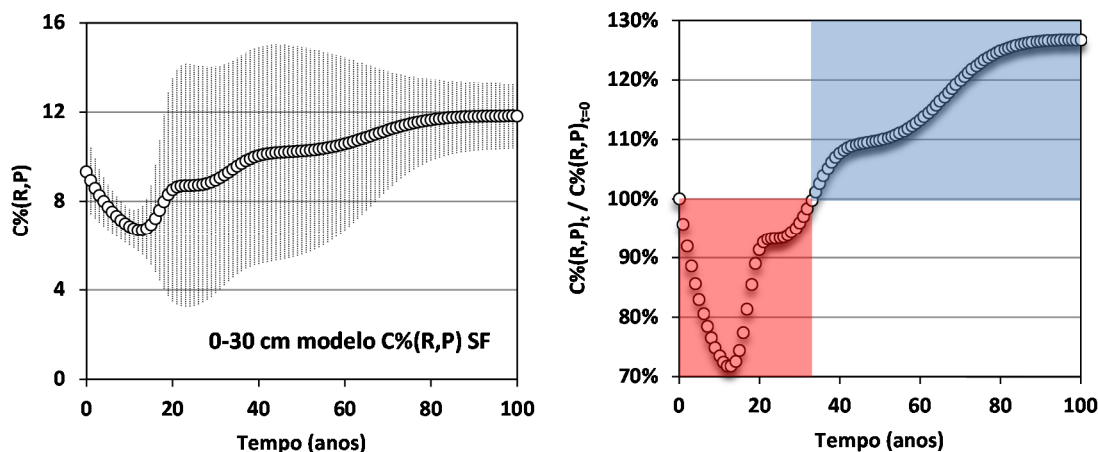


Figura 9. No gráfico da esquerda apresenta-se o modelo (equação 1) exploratório da dinâmica anual $C\%(R,P)$ (média $\pm 1DP$, $n = 3$, dos valores de $C\%$ modelados pela equação 1 para as profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm) em solos fertilizados de São Gabriel do Oeste, MS. No gráfico da direita apresenta-se os valores percentuais de mudança em $C\%(R,P)$ relativo à condição inicial (100%); em vermelho período de perdas de carbono e em azul períodos de ganhos de carbono ao longo de um século, desde a implantação do sistema de fertilização com manejo adequado de cultura ($P > R$).

A princípio, em agroecossistemas fertilizados bem manejados, isto é, onde $P > R$ no longo prazo, a quantidade de carbono no solo deve aumentar em relação à condição inicial ($t = 0$) e se manter adequada (realizando sequestro de carbono) ao longo dos anos (Figura 9), especialmente após 33 anos de fertilização (área em azul no gráfico da direita na Figura 9). Ao final de um século, o modelo exploratório de cenário sugere que o estoque de carbono no solo (0 - 30 cm) seja cerca de 27% superior ao estoque inicial. Estudos de longo prazo com a aplicação de dejetos animais também sugerem melhoria da qualidade (entre outros, teor de carbono) do solo, especialmente em relação à produtividade agrícola dos solos “estercados” e bem manejados (EDMEADES, 2003).

Recomendações estratégicas para uma agropecuicultura sustentável

A presente publicação visa ainda sintetizar informações de modo a auxiliar cooperativas e produtores de suínos, especialmente em áreas de Cerrado convertidas em agroecossistemas, com capacidade de acoplar produção de carne suína a sistemas total ou parcialmente integrados de produção rural (lavoura-pecuária-floresta). As informações apresentadas a seguir serão atualizadas na medida em que novos dados sejam produzidos.

Dosagem do biofertilizante na Produção Integrada e Intensiva de Sistemas Agropecuários

O fornecimento de 200 m³/hectare/ano de dejetos líquidos de suíno não biodigeridos possibilitou dobrar a produção de matéria seca (MS) da forrageira Tifton 85 em ciclo de 28 dias (DRUMOND et al., 2006). Serafim (2010) sugere que para braquiária as melhores dosagens de biofertilizante com vistas a ganhos de produtividade são 300 e 600 m³/hectare/ano, espaçados de 60 dias entre uma aplicação e a seguinte. Portanto, é possível manejar de forma adequada os efluentes de suínos de modo a obter ganhos de produtividade, inclusive de peso animal, considerando a ciclagem do C e N ingerido e não digerido pelos ruminantes, bem como os resíduos de carbono pós-pastejo. Tal manejo requer, entretanto, controle da quantidade aplicada ao solo, de modo a maximizar a produção e reduzir eventuais perdas de macro e micronutrientes, seja para a atmosfera na forma de gases, seja para o solo ou recursos hídricos. Com o manejo adequado é possível obter balanços ambientais e socioeconômicos favoráveis.

A Tabela 2 sintetiza as características nutricionais do biofertilizante produzido em duas propriedades associadas à COOASGO com suinocultura em unidade de terminação (animais alojados com 22 kg e retirados com 120 kg). As análises nutricionais foram feitas em 4 de março de 2011 no Laboratório Santa Rita, Mamboré, PR. A quantidade de biofertilizante a ser aplicada no solo por fertirrigação é função da demanda de nutrientes pela cultura e pela quantidade efetiva de nutrientes no solo. Para a adubação com o biofertilizante por fertirrigação a recomendação de dosagem deve respeitar, portanto, a demanda exigida pela planta em determinado nutriente, e deve-se sempre aplicar a dose considerando-se o nutriente mais limitante (fator limitante), muito embora seja necessário verificar o balanço nutricional como um todo.

Tabela 2. Quantidade de macro e micronutrientes no biofertilizante.

Nutriente	Forma química	Quantidade efetiva disponível	Unidade
Nitrogênio Total (menos as perdas de amônia) ¹	N	1,01	g/L
Fósforo	P	0,06	g/L
	P ₂ O ₅	0,13 2,26	g/L
Potássio	K	1,40	g/L
	K ₂ O	1,69 3,37	g/L
Enxofre	S	0,05	g/L
Zinco	Zn	0,54	mg/L
Cobre	Cu	0,70	mg/L

¹As perdas de N por amônia foram consideradas na volatilização pela superfície das lagoas de biofertilizantes (34%, valor médio obtido de dados de N-amoniaco na saída de biodigestor e na lagoa de efluente, com amostras analisadas no LAQUA/UFMS em 2009 e 2010) e na premissa de perdas da ordem de 20% na fertirrigação (estudos em andamento no Projeto CNPq/REPENSA).

Com base nas informações da Tabela 2, são apresentados na Tabela 3 os valores calculados de macro e micronutrientes a partir de diferentes taxas (doses por unidade de área) de fertirrigação, permitindo comparar cada uma dessas doses a uma “dose equivalente” usual com adubação mineral para culturas em geral (em negrito e *italico* na Tabela 3).

Em solos muito pobres em nutrientes, especialmente N, pode-se aplicar, a princípio, 180 m³/hectare, equivalente à quantidade média convencional aplicada a partir da adubação mineral em uma dada cultura (Tabela 3, valores sublinhados). No entanto, esse valor teórico é dependente da cultura, assim deve seguir recomendação técnica. O espaçamento temporal entre uma aplicação e outra deve considerar a demanda da cultura por macro e micronutrientes como um todo. No caso do Cerrado, a produção integrada com rotação de cultura (grãos, pasto/gado) e silvicultura pode naturalmente absorver boa parte dos nutrientes disponibilizados pelo biofertilizante, mediante manejo adequado. Salienta-se, entretanto, que a dosagem aplicada pela fertirrigação ao longo do ano deve ser adaptada e orientada com base em informações do teor nutricional do biofertilizante e do solo, e considerar a demanda nutricional das culturas, de modo a atingir o melhor balanço econômico e ambiental, tendo em vista que excessos de N podem refletir em emissões líquidas de óxido nitroso ou aporte de nitratos para os recursos hídricos, sem auferir ganhos reais de produtividade. Nota-se, ainda, que o biofertilizante na dose de 180 m³/hectare possui 40% ~~77%~~ do teor de P que a adubação mineral. Por outro lado, é mais rico em K, cerca de 7,5 ~~42~~ vezes superior. Adicionalmente à regulação estomatal da transpiração e fotossíntese, K tem papel singular na fotofosforilação, no transporte pelo floema de fotoassimilados, na ativação enzimática, na manutenção do turgor e na tolerância a estresse e doenças de plantas (LESTER et al., 2010). A maior aplicação de K pelo biofertilizante pode ter efeitos de ganhos de produção (TEIXEIRA et al., 2011) quando retido na matriz e induzindo trocas catiônicas em solos argilosos, ou ser lixiviado para águas subterrâneas em solos arenosos irrigados (KOLAHCHI; JALALI, 2007). Portanto, a fertirrigação em solos arenosos deve ser conduzida com muita cautela.

Tabela 3. Quantidade calculada de macro e micronutrientes aplicado ao solo por fertirrigação a partir de diferentes dosagens de biofertilizante e necessidade média para culturas em geral (em negrito e itálico).

Dose aplicada biofertilizante (m³/hectare)	N (kg/hectare)	P₂O₅ (kg/hectare)	K₂O (kg/hectare)	S (kg/hectare)	Zn (kg/hectare)	Cu (kg/hectare)
10	10,1	1,3 2,5	16,9 33,7	0,5	0,005	0,007
20	20,2	2,6 5,3	33,7 67,5	1,0	0,011	0,014
30	30,4	3,8 7,7	50,6 101,2	1,5	0,016	0,021
40	40,5	5,1 10,3	67,5 134,9	2,0	0,022	0,028
50	50,6	6,4 12,8	84,4 168,6	2,5	0,027	0,035
60	60,7	7,7 15,4	101,2 202,4	3,0	0,032	0,042
70	70,8	9,0 18,0	118,1 236,1	3,5	0,038	0,049
80	81,0	10,3 20,5	135,0 269,8	4,0	0,043	0,056
90	91,1	11,5 23,1	151,8 303,6	4,5	0,049	0,063
100	101,2	12,8 25,7	168,7 337,3	5,0	0,054	0,070
110	111,3	14,1 28,2	185,6 371,0	5,5	0,059	0,077
120	121,4	15,4 30,8	202,5 404,7	6,0	0,065	0,084
130	131,6	16,7 33,4	219,3 438,5	6,5	0,070	0,091
140	141,7	18,0 36,0	236,2 472,2	7,0	0,076	0,098
150	151,8	19,2 38,5	253,1 505,9	7,5	0,081	0,105
160	161,9	20,5 41,1	269,9 539,7	8,0	0,086	0,112
170	172,0	21,8 43,6	286,8 573,4	8,5	0,092	0,119
<u>180¹</u>	<u>182,2</u>	<u>23,1</u> <u>46,2</u>	<u>303,7</u> <u>607,4</u>	<u>9,0</u>	<u>0,097</u>	<u>0,126</u>
190	192,3	24,2 48,8	320,6 640,8	9,5	0,103	0,133
200	202,4	25,7 51,3	337,4 674,6	10,0	0,108	0,140
Necessidade média	180,0	60,0	40,0	30,0	6,000	2,000

¹180 m³/hectare equivale à necessidade teórica média de adubação mineral por ciclo de produção para obtenção de índices elevados de produtividade. Onde: N = nitrogênio; P₂O₅ = pentóxido de fósforo; K₂O = óxido de potássio; S= enxofre; Zn = zinco e Cu = cobre.

Cobre e Zinco são micronutrientes presentes no biofertilizante em pequenas quantidades em relação ao que as culturas necessitam: pastagens requerem em torno de 2,0 kg/ha de Cu e de Zn; milho e soja 2,0 kg/ha de Cu e 6,0 kg/ha de Zn (SOUZA; LOBATO, 2004). A Figura 10 apresenta o espectro de energia de raios X para amostras de solo fertirrigados com biofertilizantes ao longo de 16 anos (biodigeridos somente nos últimos sete anos).

Não se verifica nas profundidades 0 – 10 cm, 10 – 20 cm e 20 - 30 cm indicativos de acúmulo de Cu e Zn, evidenciando que esses micronutrientes devem ser absorvidos pelas culturas ou eventualmente lixiviados para o aquífero e corpos d'água. No entanto, dados obtidos em piezômetros (água subterrânea) em granjas mais recentes (três anos) não indicam presença significativa de metais pesados, íons e outros elementos (Tabela 4), Lastoria et al. (2011), quando comparado à referência (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005), com exceção do chumbo (<10 µg/L), cuja origem é incerta e não deve necessariamente estar associada à suinocultura. Novas amostras de solo e água subterrânea deverão ser obtidas para caracterização química ao longo deste Projeto CNPq/REPENSA.

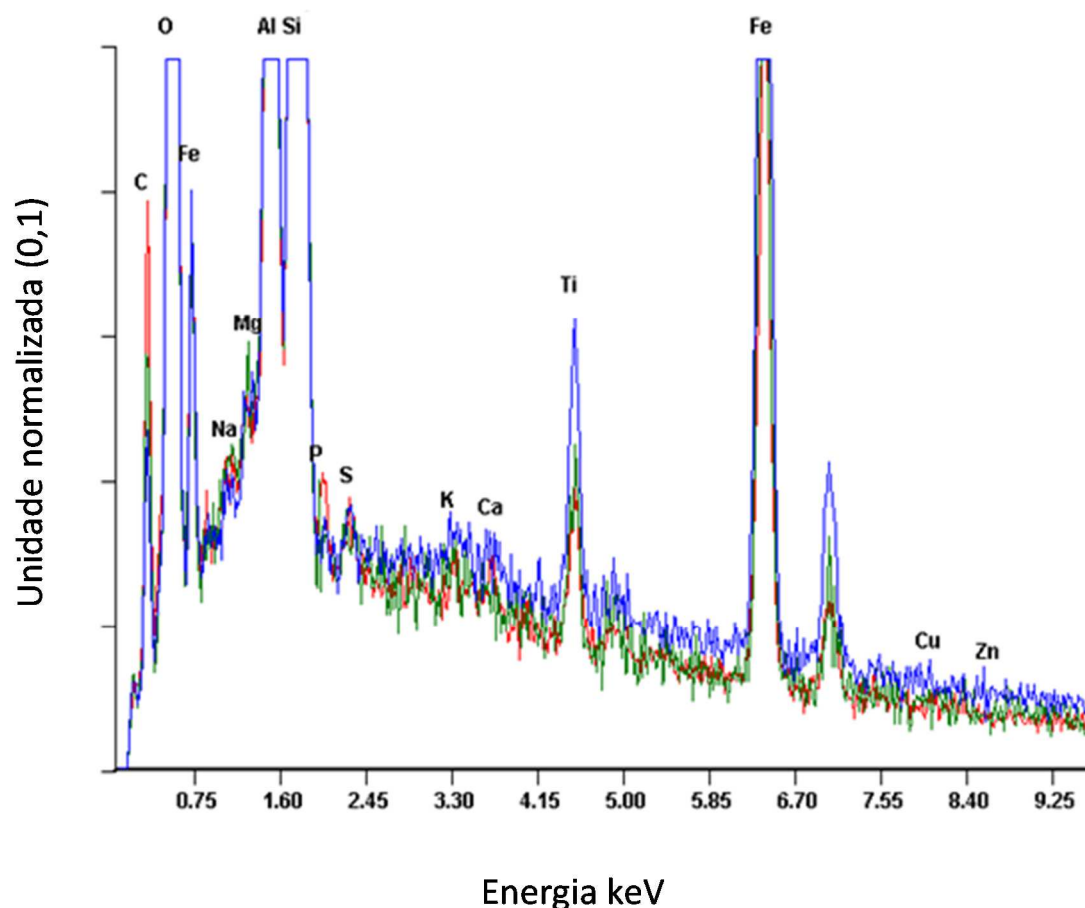


Figura 10. Espectros normalizados (unidade arbitrária) de energia de raios X (em keV) de amostras de solos adubados com dejetos de suínos por 16 anos, nas profundidades 0-10 cm (em vermelho), 1 -20 cm (em verde), 20-30 cm (em azul). Foi utilizado um feixe de elétrons de 30 kV de modo a permitir a detecção de raios X de elementos mais pesados, como Cu e Zn.

Tabela 4. Distribuição de elementos e íons dissolvidos em três piezômetros construídos pela Embrapa em área de estudo do Projeto CNPq/REPENSA em São Gabriel do Oeste. Amostras de água obtidas pela UFMS em 2010 e analisadas pelo CENA/USP.

Elemento ou íon	Unidade	Piezômetro 1	Piezômetro 2	Piezômetro 3
As	µg/L	3,404	1,728	0,715
B	µg/L	<0,100	0,106	<0,100
Ba	µg/L	16,88	14,23	15,25
Ca	µg/L	1022	1162	730,7
Cd	µg/L	1,812	2,378	2,178
Cu	µg/L	1,214	0,834	0,976
Fe	µg/L	43,19	41,05	41,66
K ⁺	µg/L	291,5	276,8	271,9
Mg	µg/L	117,9	163,4	96,00
Mn	µg/L	43,33	68,79	28,64
Na	µg/L	374,2	316,2	312,4
Pb	µg/L	25,91	21,18	13,40
SO ₄ ⁻	µg/L	238,1	187,8	181,3
Se	µg/L	4,759	4,705	6,298
Si	µg/L	2962	2743	2161
Zn	µg/L	12,28	9,34	2,04
NO ₃ ⁻	mg/L	0,071	0,083	0,342
Cl ⁻	mg/L	0,605	0,167	0,077

Balanco das emissões de gases de efeito estufa na Produção Integrada e Intensiva da Agrossuínocultura

Na Tabela 5 são reunidas informações de modo a nortear a elaboração e o acompanhamento de projetos de agricultura de baixa emissão de carbono para a agrossuínocultura na Bacia do Alto Taquari e no Cerrado como um todo. Os projetos devem ser desenhados para a aquisição de equipamentos movidos à biogás do biodigestor para a produção de energia (motogeradores) e para o uso eficiente do biofertilizante (motobombas e dutos de fertirrigação). Recomenda-se que sejam adquiridos somente equipamentos com certificação de queima emitido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO, de modo a garantir que todo o biogás seja devidamente consumido na transformação de energia química para energia elétrica ou mecânica/hidráulica. Sugere-se que sejam mantidos em separado projetos exclusivamente destinados à mitigação (combustão completa) de emissão de metano pelos dejetos de suínos. Portanto, esses números não entram no balanço aqui proposto de modo a evitar contagem dupla. Embora o biogás usado na integração com a agropecuária seja o mesmo, isto é, sua queima integral está assegurada, este será usado para reduzir a emissão de carbono de outros processos.

Em linhas gerais, informações relevantes para o cálculo de balanço de carbono pelo sistema de fertirrigação da agrossuínocultura estão disponibilizadas na Tabela 5. Para exemplificar o uso dos valores disponibilizados na Tabela 5, deve-se basear em uma granja com 2.000 suínos por ciclo de terminação (3 ciclos por ano de 115 dias) com sistema rotação de cultura ao longo do tempo (agropastoril, duas safras por ano) (Tabela 6). Sabendo-se que o consumo médio de água por animal é da ordem de 10 litros por dia (Tabela 5), a produção anual de biofertilizante é da ordem de 7.300 metros cúbicos (Tabela 6). Cerca de 34% do nitrogênio amoniacal (quase 100% do total de N disponível) das lagoas de biofertilizante é perdido por volatilização atmosférica.

Assumindo-se que cerca de 20% desse nitrogênio (N) também seja perdido durante o processo de fertirrigação (Tabela 6), o biofertilizante efetivamente aplicado ao solo deve conter ao redor de 1 kg N amoniacal em cada metro cúbico (Tabela 2). De modo a reduzir as perdas de N amoniacal por volatilização recomenda-se a realização da fertirrigação em condições de ausência de vento, em especial à noite. Tomando-se como base o uso de 180 kg N-NPK/hectare/cultura (Tabela 3), chega-se ao valor de taxa limite de fertirrigação por unidade de suínos, que é 0,01 hectares/suíno para duas safras no ano (Tabela 5). Portanto, a área fertirrigada nessas condições por 2.000 suínos deve ser de 20 hectares, cujas culturas receberão doses do biofertilizante de 7,4, 0,504 0,44 e 12,6 40,2 ton/ano de N, P e K, respectivamente (Tabela 6) em duas safras ou rotações de cultura. Dessa forma é possível substituir parte substancial do NPK mineral, e monitorar os efeitos de um excedente em K.

Estudos recentes por meio da análise de ciclo de vida para a produção de biodiesel (KUMAR et al., 2012) fornecem valores de fatores de emissão para a produção de fertilizante químico NPK e defensivos agrícolas não renováveis, bem como para o uso de água. Estes fatores de emissão (Tabela 5) foram aplicados nas estimativas para calcular as emissões de gases de efeito estufa pelo consumo de água, pela aplicação de defensivos, cujo uso pode ser minimizado em função do uso do biofertilizante (Tabela 6).

Para a determinação do balanço das emissões de gases de efeito estufa (N_2O e CH_4) nestes sistemas será necessário ainda o conhecimento dos reais valores das emissões advindas dos solos biofertilizados e da fermentação entérica dos ruminantes. Do ponto de vista do estoque de carbono dos solos fertirrigados, com base no modelo idealizado e detalhado no presente documento, avalia-se que o efeito sumidouro desses solos ocorra no médio e longo prazos.

Tabela 5. Parâmetros aplicados como base de cálculo para as estimativas de emissões equivalentes anuais de carbono em tonelada (ton) pela agrossuínocultura.

Descrição	Valor	Unidade	Fonte
Consumo médio de água	10	litros de água/suíno/dia	COOASGO ¹
Taxa limite de fertirrigação	0,01	hectare/suíno	Este estudo, Tabela 3, 140 m ³ /hectare em duas safras no ano
Potência de motogeradores por suíno	0,025	kW/suíno	Este estudo, derivado de informações da Retificadora Centro Sul ²
Consumo equivalente de diesel na fertirrigação	17	litros/hora	Retificadora Centro Sul ²
Quantidade média de N na saída do biodigestor	2,2	kgN/m ³	Este estudo, Tabela 2
Perdas atmosféricas de N-NH ₄ pela lagoa (34% medido) e durante a fertirrigação (20% estimado)	54%	adimensional	Este estudo, Tabela 2
Quantidade média de P na lagoa de biofertilizante	0,056	kgP/m ³	Este estudo, Tabela 2
Quantidade média de K na lagoa de biofertilizante	1,4	kgK/m ³	Este estudo, Tabela 2
Uso de herbicidas, pesticidas e inseticidas	15	kg/hectare/ano	COOASGO ¹
Adubação mineral N-NPK	180	kgN-NPK/hectare/ano	Este estudo, Tabela 3
Adubação mineral P-NPK	26,2 43,4	kgP-NPK/hectare/ano	Este estudo, Tabela 3, com conversão de P ₂ O ₅ para P
Adubação mineral K-NPK	33,2 46,6	kgK-NPK/hectare/ano	Este estudo, Tabela 3, com conversão de K ₂ O para K
Fator de emissão de produção de N-NPK (Análise de Ciclo de Vida)	6,67	ton CO ₂ -e/ton N-NPK	Kumar et al. (2012)
Fator de emissão de produção de P-NPK (Análise de Ciclo de Vida)	0,71	ton CO ₂ -e/ton P-NPK	Kumar et al. (2012)
Fator de emissão de produção de K-NPK (Análise de Ciclo de Vida)	0,46	ton CO ₂ -e/ton K-NPK	Kumar et al. (2012)
Fator de emissão de produção de herbicidas, pesticidas e inseticidas (Análise de Ciclo de Vida)	5,41	ton CO ₂ -e/ton produto	Kumar et al. (2012)
Fator de emissão de consumo de água (Análise de Ciclo de Vida)	0,086	kg CO ₂ -e/m ³ de água	Kumar et al. (2012)
Fator de sequestro de carbono pela camada 0-30 cm de solos fertirrigados em 100 anos relativo à condição inicial do solo (Análise de Ciclo de Vida)	27%	ton CO ₂ -e/hectare	Este estudo, Figura 9
Fator de emissão de C-CH ₄ fermentação entérica bovinos em sistema de produção integrada	?	ton CO ₂ -e/hectare/ano	-
Fator de emissão de C-CH ₄ solos fertirrigados em sistema de produção integrada	?	ton CO ₂ -e/hectare/ano	-
Fator de emissão de N-N ₂ O solos fertirrigados em sistema de produção integrada	?	ton CO ₂ -e/hectare/ano	-
Fator de emissão anual pelo consumo de diesel na geração de energia elétrica	5,48	ton CO ₂ -e/kW/ano	Este estudo com base em Retificadora Centro Sul ² e INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2006)
Fator de emissão equivalente pelo consumo de diesel na fertirrigação	2,78	kg CO ₂ -e/litro de diesel	Este estudo com base em Retificadora Centro Sul ² e INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2006)
Potencial de aquecimento global N ₂ O para 100 anos	298	adimensional	Forster et al. (2007)
Potencial de aquecimento global CH ₄ para 100 anos	25	adimensional	Forster et al. (2007)
Mitigação de emissão de carbono pela produção de água da mata nativa	?	ton CO ₂ -e/ano	-
Mitigação de emissão de carbono pela manutenção da polinização	?	ton CO ₂ -e/ano	-
Mitigação de emissão de carbono pela manutenção da agrobiodiversidade	?	ton CO ₂ -e/ano	-
Sequestro de C vegetação nativa	22,7	ton CO ₂ -e/hectare/ano	Adaptado de Vale e Felfili (2005)
Estoque inicial de carbono no solo camada 0-30 cm da área degradada a ser reflorestada	100	ton CO ₂ -e/hectare	Adaptado de Costa Júnior et al. (2011)
Sequestro de carbono no solo da vegetação nativa em relação aos solos de agroecossistemas (30 anos)	63%	adimensional	Este estudo, Figura 5
Ganho de produtividade para aplicação adequada de biofertilizante	50%	adimensional	Drumond et al. (2006), Crispim et al. (2010)
Área relativa de vegetação nativa recomposta (um terço do ganho de produtividade)	16,7%	adimensional	Este estudo

¹ Comunicação pessoal do empresário Carlos Alberto Shimata, cooperado da COOASGO (centrosulservicos@terra.com.br), aos autores.² Comunicação pessoal do empresário Luiz de Oliveira Rieger, dono da Retificadora Centro Sul (retificadoracentrosul@hotmail.com), aos autores.

Em 100 anos, a média de sequestro de carbono pelos solos fertirrigados de 20 hectares deve ser da ordem de 5,4 toneladas de dióxido de carbono equivalente ou CO₂-e por ano (Tabelas 5 e 6), especialmente, segundo o modelo (Figura 9), após três décadas. Esse número foi derivado da condição inicial estimada de 100 toneladas CO₂-e por hectare (Tabela 5) e do valor obtido de ganho de carbono ao longo do tempo (Tabela 5) no modelo da equação 1 apresentado na Figura 9 (ganho da ordem de 27%).

Do ponto de vista energético, para um sistema convencional (sem produção e uso de biogás de biodigestores em máquinas) de integração suíno-pastagem, a eficiência energética é estimada em 30%, e a energia não renovável transformada em suínos para abate corresponde a 55,6% e a pastagem de braquiária a 44,4% das saídas ou *outputs* (SOUZA et al, 2009). Com as informações levantadas, a substituição de diesel para a fertirrigação e para a geração de eletricidade pode mitigar cerca de 285 toneladas CO₂-e por ano (Tabelas 5 e 6).

Tabela 6. Exemplificação de cálculo de balanço de emissão anual de gases de efeito estufa em toneladas (ton) para projetos de agrossuínocultura de baixa emissão de carbono com base nos parâmetros da Tabela 5.

Descrição	Valor	Unidade	Observação
Número de suínos	2000	animais	Terminação
Área fertirrigada mínima	20	hectares	Taxa limite de fertirrigação
Produção de biofertilizantes	7300	m ³ /ano	-
N aplicado	7,39	ton N/ano	Duas culturas anuais (safrã+safrinha ou safrã+pasto)
P aplicado	0,50 0,44	ton P/ano	Duas culturas anuais (safrã+safrinha ou safrã+pasto)
K aplicado	12,6 10,2	ton K/ano	Duas culturas anuais (safrã+safrinha ou safrã+pasto)
Defensivos aplicados	0,60	ton defensivos/ano	-
Geração de energia (potência)	50	kW	Motogerador a biogás com 40% eficiência
Emissão			-
Pesticidas	3,25	ton CO ₂ -e/ano	-
N ₂ O solos	?	ton CO ₂ -e/ano	-
CH ₄ solos	?	ton CO ₂ -e/ano	-
CH ₄ fermentação entérica do gado	?	ton CO ₂ -e/ano	-
Emissão pelo consumo de água	0,63	ton CO ₂ -e/ano	-
Mitigação			-
Supressão de N-NPK	49,3	ton CO ₂ -e/ano	-
Supressão de P-NPK	0,36 0,29	ton CO ₂ -e/ano	-
Supressão de K-NPK	5,80 4,70	ton CO ₂ -e/ano	-
Sequestro de carbono pelos solos fertirrigados em 100 anos	5,4	ton CO ₂ -e/ano	-
Supressão de defensivos	?	ton CO ₂ -e/ano	-
Supressão de diesel na geração de eletricidade para consumo e venda	274	ton CO ₂ -e/ano	-
Supressão de diesel na fertirrigação	11,3	ton CO ₂ -e/ano	Fertirrigação de 240 horas/ano
Adaptação (recomposição da vegetação)			-
Produção de água	?	ton CO ₂ -e/ano	-
Polinização	?	ton CO ₂ -e/ano	-
Agrobiodiversidade	?	ton CO ₂ -e/ano	-
Sequestro de carbono na vegetação nativa em 30 anos	76	ton CO ₂ -e/ano	-
Sequestro de carbono no solo 0-30 cm da vegetação nativa em 30 anos	7,0	ton CO ₂ -e/ano	-
Balanço atual			-
(Adaptação + Mitigação) - Emissão =	425 423,66	ton CO ₂ -e/ano	-

Diante dos ganhos de produtividade da aplicação de biofertilizantes das lagoas de biodigestores é possível melhorar ainda mais o balanço das emissões com ganhos adicionais de serviços ambientais. Nessa visão, assume-se que uma propriedade rural bem manejada para produzir de forma integrada pasto-grãos-madeira com biofertilizante possa atingir ganhos de produtividade da ordem de 50% (CRISPIM et al., 2010; DRUMOND et al., 2006). Um terço deste incremento da produtividade, ou seja, 16,7% poderia ser o tamanho relativo da área a ser recomposta com vegetação nativa, área esta em relação à área fertirrigada (Tabela 5). Com isso, no exemplo da Tabela 6, onde devem ser fertirrigados 20 hectares, poderiam ser repostos 3,3 hectares com vegetação nativa. Essa área de vegetação nativa seria então responsável pelo sequestro anual de 76 toneladas CO₂-e pela vegetação mais 7 toneladas CO₂-e anuais no solo, assumindo-se que o estoque de carbono inicial do solo na área a ser recuperada seja de 100 toneladas CO₂-e por hectare e que a quantidade de carbono na camada 0 - 30 cm no solo da mata nativa após 30 anos seja 63% maior (proporção obtida pelos dados de C% na Figura 5, Tabelas 5 e 6). Os ganhos adicionais de serviços ambientais, aqui destacados a produção de água pelas matas, a manutenção de populações de insetos polinizadores, bem como os ganhos da biodiversidade como um todo do agroecossistema (HOOPER et al., 2012), podem e deverão ser computados na forma de redução de emissões ou outra métrica integradora (como a análise emergética), também no âmbito deste Projeto CNPq/REPENSA. De posse das informações levantadas e no atual estado da arte é possível inferir um balanço parcial positivo (sequestro) da ordem de 425 424 toneladas CO₂-e anuais para o sistema de agrossuínocultura exemplificado na Tabela 6, necessitando mensurar outros processos, como as emissões pelos solos e entéricas de ruminantes.

Perspectivas do Projeto CNPq/REPENSA em São Gabriel do Oeste no curto e médio prazos

Os trabalhos no âmbito deste Projeto CNPq/REPENSA “Estruturação de rede de monitoramento e base compartilhada de dados de sistemas de produção integrada e intensiva sustentável (suinocultura-agrosilvipastoril) em assentamento de reforma agrária visando balanços favoráveis de água, energia e nutrientes” deverão produzir informações no sentido de melhorar os parâmetros e modelos aqui sintetizados. Em especial será monitorada a produção integrada com o uso de biofertilizante em aproximadamente 22,4 hectares em dois lotes contíguos no Assentamento Campanário, em São Gabriel do Oeste. A Figura 11 apresenta as áreas e a distribuição espacial dos sistemas integrados de produção em estudo neste projeto CNPq/REPENSA.

Com esta finalidade a COOASGO e a Embrapa Pantanal desenvolveram uma unidade demonstrativa com 2000 suínos e um laboratório avançado capaz de realizar análises de emissões gases de efeito estufa por cromatografia gasosa, emissões de sistemas de combustão de biogás e pirólise de dejetos (estudos em paralelo para produção de biochar a partir dos dejetos), estudos da produtividade das culturas fertirrigadas (milho, soja, sorgo, milheto, diferentes pastagens, eucalipto). Deverá também servir de base para estudo de reposição da vegetação nativa, que vem sendo restaurada no Assentamento Campanário, contrapartida exigida pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA para efetivar a posse dos lotes. Os recursos de investimento deste Projeto CNPq/REPENSA serão cruciais para equipar o laboratório construído pela COOASGO na unidade demonstrativa. Com a colaboração do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e também com aporte de recursos deste Projeto CNPq/REPENSA deverão ser instaladas torres micrometeorológicas para estudos de troca gasosa pela técnica de vórtices turbulentos e outras técnicas computacionais com uso de modelos de dinâmica atmosférica (MORAES et al., 2008; RAMOS et al., 2004). Espera-se obter as emissões de amônia e de metano entérico por meio destes trabalhos.

Parceiros do Núcleo de Robótica do Instituto Federal do Mato Grosso do Sul (IFMS) em Corumbá já iniciaram a criação de uma base remota de dados nas “nuvens” onde as informações de campo serão disponibilizadas para a produção do conhecimento necessário a partir de bolsistas de graduação e pós-graduação vinculados ao projeto. Parte das informações será obtida de forma automática, a partir de sensores criados com eletrônica de código aberto. Componentes eletrônicos já foram adquiridos com recursos de custeio deste Projeto CNPq/REPENSA e alunos do Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do IFMS de Corumbá já estão iniciando esses trabalhos.

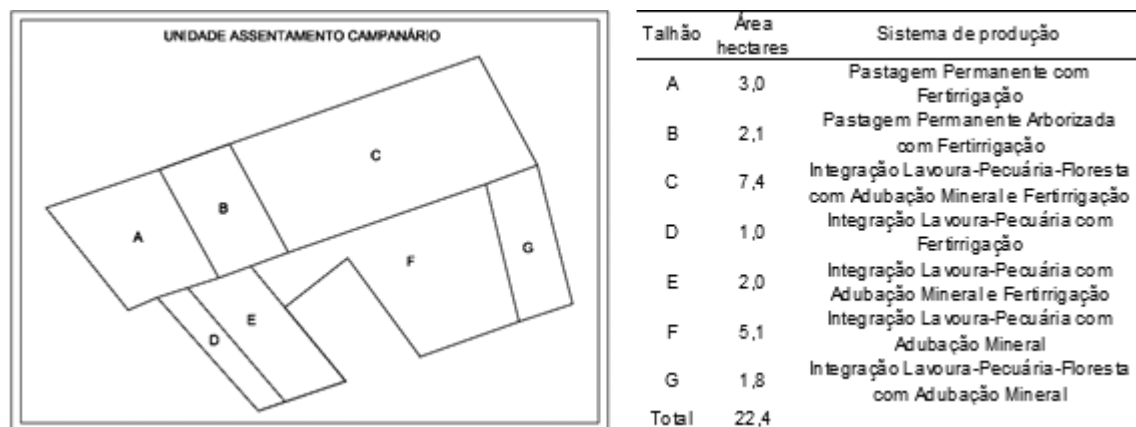


Figura 11. Croqui da unidade demonstrativa do Projeto CNPq/REPENSA “Estruturação de rede de monitoramento e base compartilhada de dados de sistemas de produção integrada e intensiva sustentável (suinocultura-agrosilvipastoril) em assentamento de reforma agrária visando balanços favoráveis de água, energia e nutrientes”.

Na Figura 12 é apresentada a versão preliminar do sistema que acessa a base de dados em desenvolvimento pelo IFMS de Corumbá, bem como o trabalho de desenvolvimento de sensores de hardware de código aberto. Haverá ainda no futuro próxima integração do IFMS com alunos da escola no Assentamento Campanário, onde se encontra a unidade demonstrativa deste Projeto CNPq/REPENSA.

De forma mais abrangente, as informações para o banco de dados serão aproveitadas em uma tese de doutorado pelo Laboratório de Ecologia e Informática Aplicada da Unicamp, que visa a elaboração de modelos energéticos e emergéticos para os sistemas integrados de agrossuínocultura em São Gabriel do Oeste, levando-se em consideração sua sustentabilidade, renovabilidade e potencial de inserção social.

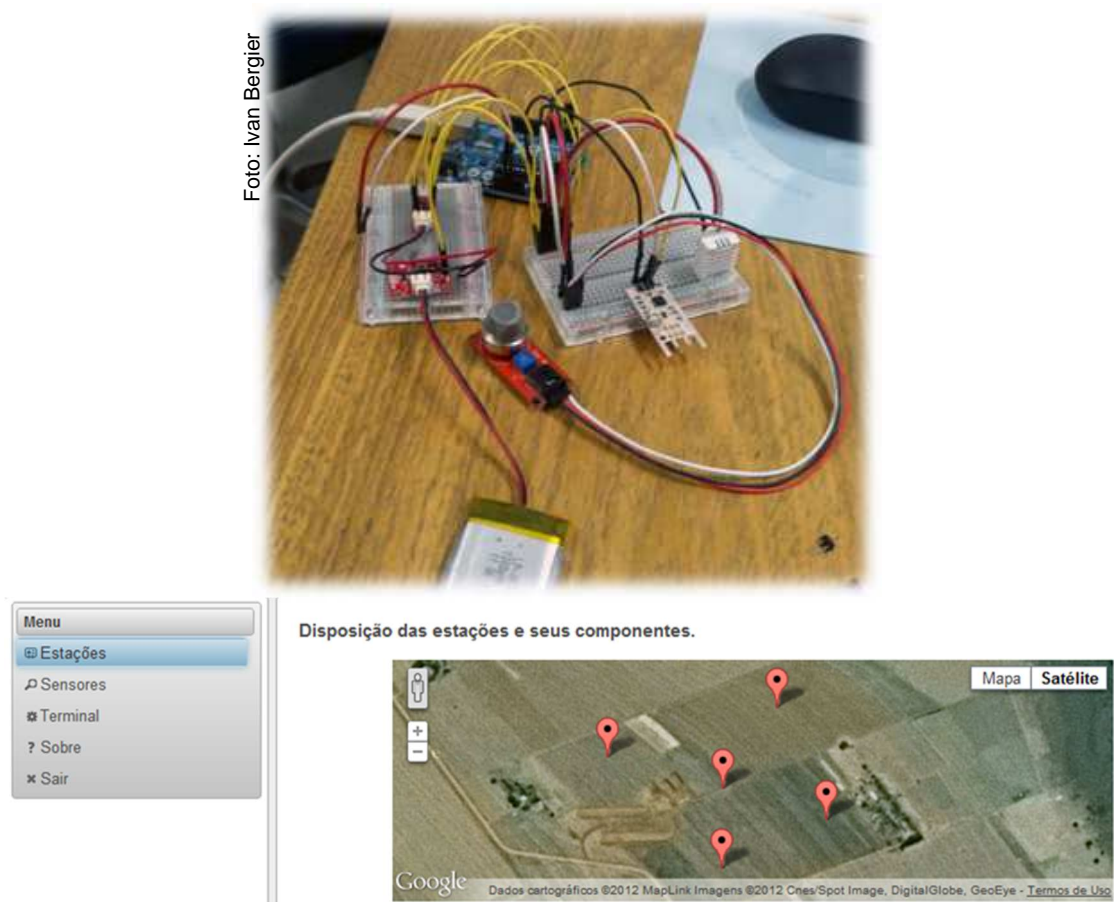


Figura 12. Desenvolvimento de sensores ambientais autônomos (bateria e energia solar) de baixo custo com eletrônica de código aberto (Arduino) e tela capturada do sistema na nuvem (Google App Engine) em desenvolvimento pelo IFMS de Corumbá no âmbito deste Projeto CNPq/REPENSA.

Conclusões

Os dados obtidos e estimados neste trabalho permitem afirmar que a fertirrigação, além da geração de energia renovável com efeitos diretos para a mitigação de gases de efeito estufa, propicia o balanço positivo de C no sistema de produção integrada e intensiva da agrossuinoicultura. A fertirrigação da agrossuinoicultura deve estar inserida no contexto de manejo P>R (controle das doses de biofertilizante, produção integrada), evitando solos arenosos (mais permeáveis), com geração de energia renovável para uso próprio e para a Geração Distribuída, de modo a apresentar-se como uma atividade economicamente rentável, sustentável e com capacidade de inserção social. Os dados aqui apresentados serão continuamente revistos e já servem de base para projetos de agrossuinoicultura de baixa emissão de carbono no Cerrado, visando balanços socioambientais e econômicos favoráveis.

Agradecimentos

Este documento é fruto do projeto aprovado no Edital MCT/CNPq/MEC/CAPES/CT AGRO/CT-HIDRO/FAPS/EMBRAPA nº 22/2010 - REPENSA / Edital 22/2010 - Tema D, processo 562441/2010-7 e Embrapa/Macroprograma 2 processo 02.11.05.002. Os autores agradecem ao Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação, aos produtores da COOASGO, à Retificadora Centro Sul, à Brascarbon e aos moradores do Assentamento Campanário pelo apoio e colaboração permanente. Agradecemos, ainda, as análises de água subterrânea realizadas pelo Dr. Alex Krusche (CENA-USP). Este trabalho é dedicado à memória de Balduino Maffissoni, cidadão são gabrielense.

Referências

- ASSIS, E. P. M.; CORDEIRO, M. A. S.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 33, p. 107-112, jul./dez. 2003.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 39, n. 6, p. 925-1933, jul. 2009.
- BERGIER, I.; ALMEIDA, J. A. R. Agrossuinoicultura: solução sustentável brasileira. **Revista CFMV**, Brasília, DF, ano 16, n. 50, p. 19-22, maio/ago. 2010.
- BURNEY, J. A.; DAVISC, S. J.; LOBELLA, D. B. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, v. 107, p. 12052-12057, June 2010.
- BUTLER, D.; SPENCER N. Food: The growing problem, **Nature**, London, GB, v. 466, p. 546-547, July 2010.
- CARVALHO, P. F.; ANGHINONI, I. ; MORAES, A.; SOUZA, E.; SULC, R. M.; LANG, C.; FLORES, CASSOL, J. P.; LOPES, M. T.; SILVA, J.; CONTE, O.; WESP, C. L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 88, n. 2, p. 259-273, Nov. 2010.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. 2012. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf>. Acesso em: 3 maio 2012.
- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

- COSTA JÚNIOR, C.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P. B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e $\delta^{13}\text{C}$ em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma cerrado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.35, p.1241-1252, 2011.
- CRISPIM, S. M. A.; SOARES, M. T. S.; FERNANDES, A. H. B. M.; LISITA, F. O.; FRANCO, E.; LIMA, I. B. T. Produção de fitomassa de pastagem de Tifton 85 com aplicação de dejetos de suínos em área de assentamento rural, São Gabriel do Oeste, MS. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: SBZ: ED. da UFBA, 2010.
- DAWSON, C. J.; HILTON, J. Fertilizer availability in a resource-limited world: production and recycling of nitrogen and phosphorus. **Food Policy**, London, GB, v. 36, p. S14–S22, Jan. 2011. Suplement.
- DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J. **Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo do carbono**. São Carlos, SP. Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 17p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos, 12).
- DRUMOND, L. C. D.; ZANINI, J. R.; AGUIAR, A. P. A.; RODRIGUES, G. P.; FERNANDES, A. L. T. Produção de matéria seca em pastagem de Tifton 85 irrigada, com diferentes doses de dejetos líquidos de suíno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 26, n. 2, p. 426-433, maio/ago. 2006.
- EDMEADES, D.C. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 66, p. 165-180, 2003.
- FERNANDES, A. H. B. M.; CARDOSO, M. A.; SOUSA, R. A. C.; FERNANDES, F. A.; SOARES, M. T. S.; CRISPIM, S. M. A.; GALVANI, F.; LISITA, F. **Nitrificação e mineralização de carbono em solos tratados com dejetos de suínos biodigeridos**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2011. 15 p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 111).
- FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D.W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D. C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHULZ, M.; DORLAND, R. van Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S., QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis**. Contribution of working group in to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p.129-234. Disponível em: <www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>. Acesso em: 3 maio 2012.
- HOOPER, D. U.; ADAIR, E. C.; CARDINALE, B. J.; BYRNES, J. E. K.; HUNGATE, B. A.; MATULICH, K. L.; GONZALEZ, A.; DUFFY, J. E.; GAMFELDT, L.; O'CONNOR, M. I. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. **Nature**, London, GB, v. 486, p. 105-108, June 2012. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v486/n7401/pdf/nature11118.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2012.
- HOWARTH, R. W. Coastal nitrogen pollution: a review of sources and trends globally and regionally. **Harmful Algae**, Amsterdam, NL, v. 8, p. 14-20, Dec. 2008.
- INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: EGGLESTON, H.S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **National Greenhouse Gas Inventories Programme**. Hayama: IGES, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>>. Acesso em: 3 maio 2012.
- KOLAHCHI, Z.; JALALI, M. Effect of water quality on the leaching of potassium from sandy soil. **Journal of Arid Environments**, London, GB, v. 68, p. 624-639, 2007.
- KUMAR, S.; SINGH, J.; NANOTI, S.M.; GARG, M.O. A comprehensive life cycle assessment (LCA) of Jatropha biodiesel production in India. **Bioresource Technology**, Essex, v. 110, p. 723-729, 2012.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, DC, v. 304, p. 1623-1627, June 2004.
- LANG, C. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; SULC, R. M.; CARVALHO, P. C. F.; LOPES, E. C. P. Integração lavoura-pecuária: eficiência de uso do nitrogênio na cultura do milho. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 12, p. 53-60, 2011.

- LASTORIA, G.; GABAS, S. G.; BERGIER, I.; MIRANDA, C. S.; SOUZA, A.; SANTOS, T. H. L.; MACHADO, C. D. A gestão do SAG na Borda Oeste da Bacia Sedimentar do Paraná no Estado do Mato Grosso do Sul. In: HIRATA, R.; ROCHA, G.; SINDICO, F. (org.). **A gestão do sistema aquífero Guarani: um exemplo de cooperação**. São Paulo: Ed. da USP, 2011. 50 p.
- LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; NETO, M. R. H.; ARAÚLO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, dez. 2010.
- LESTER, G. E.; JIFON, J. L.; MAKUS, D. J. Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (*Cucumis melo* L) case study. **Plant Soil**, The Hague, v. 335, p. 117-131, 2010.
- LUZ, L.P. **Dinâmica do carbono durante a decomposição de palha de trigo marcada com ^{13}C e dejetos líquidos de suínos**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- MORAES, O. L. L.; MORAES, O.; DEGRAZIA, G.; FITZJARRALD, D.; MANZI, A.; CAMPOS, J. Is friction velocity the most appropriate scale for correcting nocturnal carbon dioxide fluxes? **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, NL, v. 149, p. 1-10, jan. 2008.
- MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; PELISSARI, A.; ALVES, S. J.; LANG, C. R. Sistemas de integração lavoura-pecuária no Subtropical da América do Sul: exemplos do Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, 2007, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Ed. da UFPR: Ohio State University, 2007. 1 CD-ROM.
- MORALES, D.; MACHADO-VARGAS, M.; OLIVEIRA, M. P.; TAFTE, B.; SOARES, C. R. F. S.; LOVATO, P. Atividade microbiana em solos submetidos a diferentes doses e formas de dejetos suínos em sistema de plantio direto. **Cadernos de Agroecologia**, Cruz Alta, RS, v. 6, n. 2, p. 1-6, dez. 2011.
- NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, set./out., 2004.
- RAMOS, F. M.; BOLZAN, M. J.; SÁ, L. D.; ROSA, R. R. Atmospheric turbulence with in and above an Amazon forest. **Physica D nonlinear phenomena**, Santa Fe, v. 193, p. 278-291, Nov. 2004.
- RIEGER, L. O. **Motor estacionário modificado para gás metano**. MU8602925-8, 6 jun. 2006.
- ROCKSTROM, J. et al. A safe operating space for humanity. **Nature**, London, GB, v. 461, p. 472-475, sept. 2009.
- REAPING** the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. London: The Royal Society, 2009. 73 p. Disponível em: <http://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf>. Acesso em: 22 maio 2012.
- RUSSELL, A. E.; CAMBARDELLA, C. A.; LAIRD, D. A.; JAYNES, D. B.; MEEK, D. W. Nitrogen fertilizer effects on soil carbon balances in Midwestern U.S. agricultural systems. **Ecological Applications**, Pasadena, v. 19, p. 1102-1113, July 2009.
- SERAFIM, R. S. **Produção e composição química da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu adubada com água residuária de suinocultura**. 2010. 96 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; JÚNIOR, C. C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.
- SOARES, M. T. S.; GALVANI, F.; FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A.; LISITA, F.; LIMA, I. B. T.; CRISPIM, S. M. A.; FRANCO, E.; RIEGER, K. L. Caracterização físico-química de efluentes líquidos de granjas suínas tratados em biodigestor. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SOCIOECONÔMICOS DO PANTANAL, 5., 2010, Corumbá, MS. **Anais...** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2010.

- SOKOLOV, A. P.; KICKLIGHTER, D. W.; MELILLO, J. M.; FELZER, B. S.; SCHLOSSER, C. A.; CRONIN, T. W. Consequences of considering carbon-nitrogen interactions on the feed backs between climate and the terrestrial carbon cycle, **Journal of Climate**, Boston, v. 21, p. 3776–3796, Aug. 2008.
- SOUZA, C. V.; CAMPOS, A. T.; BUENO, O. C; SILVA, E. B. Análise energética em sistema de produção de suínos com aproveitamento dos dejetos como biofertilizante em pastagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 29, n. 4, p. 547-557, 2009.
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.
- SUTTON, M. A.; OENEMA, O.; ERISMAN, J. W.; LEIP, A.; GRINCVEN, H. van; WINIWARTER, W. Too much of a good thing. **Nature**, London, GB, v. 472, p. 159-161, Apr. 2011.
- TEIXEIRA, L. A. J; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; MELLIS, E. V. Potassium fertilization for pineapple: effects on plant growth and fruit yield. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 33, n. 2, p. 618-626, June 2011.
- TILMANA, D.; BALZERB, C.; HILLC, J.; BEFORTA, B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, v. 108, p. 20260-20264, Dec. 2011.
- UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE . 2005. **Protocol to the 1979 Convention on long-range transboundary air pollution to abate acidification, eutrophication and ground-level ozone**. New York, 2005. Disponível em:
<<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/full%20text/1999%20Multi.E.Amended.2005.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2012.
- VALE, A. T.; FELFILI, J. M. Dry biomass distribution in a cerrado sensu stricto site in Brazil central. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, p. 661-669, 2005.
- WANG, Y.; HOULTON, B. Z. Nitrogen constraints on terrestrial carbon uptake: implications for the global carbon-climate feedback. **Geophysical Research Letters**, Washington, DC, v. 36, 5 p., Nov. 2009.
- ZAEHLE, S.; CIAIS, P.; FRIEND, A. D.; PRIEUR, V. Carbon benefits of anthropogenic reactive nitrogen offset by nitrous oxide emissions. **Nature Geoscience**, London, GB, v. 4, p. 601-605, July 2011.



Pantanal